

宽带高精度信道阻抗耦合技术研究

安雷,马俊,许波,谭思亮

(中国电子科技集团公司第26研究所,重庆400060)

摘要:幅度平坦度是发射信道的一个重要指标,它直接影响接收信道的灵敏度。该文对某超宽带离散发射信道进行了分析和研究,设计了高精度阻抗耦合电路。它具有结构简单和插入损耗低的特点,试验验证了能将信道的幅度平坦度由3 dB改善至1.5 dB。

关键词:超宽带;高精度;离散信道;平坦度;阻抗耦合

中图分类号:TN915.853;TM73 **文献标识码:**A

Research on High-Precision Impedance Coupling Technique of Ultra-Wideband Discrete Channel

AN Lei, MA Jun, XU Bo, TAN Siliang

(26th Institute of China Electronic Technology Group Corporation, Chongqing 400060, China)

Abstract: Amplitude flatness is an important indicator of transmission channel, which directly affects the sensitivity of the receiver channel. One ultra-wideband discrete transmission channel was analyzed and studied, and high-precision impedance coupling circuit was designed. It had the characteristics of simple structure and low insertion loss. The experiment proved that it could improved the flatness of the channel from 3 dB to 1.5 dB.

Key words: ultra-wideband; high precision; discrete channel; flatness; impedance coupling

0 引言

收发信机中包含发射信道和高灵敏度、大动态的接收信道。其中,发射信道平坦度是一个重要的参数指标,在通信系统中,特别是跳频通信中,直接影响接收信道的灵敏度和有效通信距离^[1];而在雷达系统中,发射机平坦度又关系到雷达可探测距离和雷达的发射效率等。发射信道的平坦度指标影响着各个设备中较关键的整机系统指标,直接决定系统的可靠性和适用性。

本文针对某型产品中发射信道的输出功率平坦度指标,尝试了多种耦合方式,在较宽的频带内,最终实现发射信道的幅度平坦度由3 dB改善至1.5 dB,同时该电路具有一致性好,调试难度小等一系列优点,特别适合批量产品中发射信道的功率平坦度调试。

1 信道阻抗耦合

阻抗耦合就是发射源内部阻抗、传输线阻抗、负载阻抗互相适配,得到最大功率输出的一种工作状

态。史密斯圆图是一个强大的工具,它反映了电压反射系数与阻抗间的关系^[2]。反射电压与入射电压的比值被定义为电压反射系数 Γ ,则有

$$\Gamma = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0} \quad (1)$$

式中: Z 为负载阻抗; Z_0 为传输线的特征阻抗。史密斯圆图中的圆形线表示阻抗的实数值,即电阻值,中间的横线与向上和向下散出的线表示阻抗的虚数值,即电容或电感在高频下所产生的阻力^[3]。圆图的中间点 $(1+j0)$ 为标准参考阻抗点(通常为 $50\ \Omega$)。圆图的最左边的点为零阻抗点或短路点,最右边的点为开路点^[4]。

2.1 分析及解决方案

某型产品中发射信道原理框图如图1所示,调制的中频信号 F_1 经中频滤波器后进入混频器,与LO相混后输出射频信号 F_2 。其中LO为跳频本振,中频滤波器为带宽10 MHz的LC滤波器。

收稿日期:2014-04-28

作者简介:安雷(1981-),男,重庆市璧山县人,工程师,硕士,主要从事微波频率源的研究。

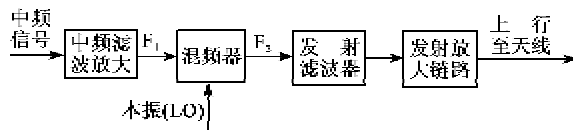


图1 发射信道的上变频电路

在测试中发现,输出射频信号的幅度平坦度在整个带内有 3 dB,指标要求为 2 dB 以内。经测试确认器件本身带来的不平度约为 1 dB,其余 2 dB 主要由射频滤波器和混频器间阻抗耦合不良引起。这是由于射频滤波器带宽覆盖 300 MHz 带宽,在较宽的频带内呈现不同的特性阻抗(或为容性或为感性),在与混频器在级联过程中,混频器在宽带使用时驻波较差,造成射频滤波器与混频器间的阻抗失配,从而影响输出信号的平坦度指标。

在常规生产和调试过程中,往往是通过增加衰减来改善混频器的驻波,即在滤波器和混频器间加 π 型或 T 型电阻衰减网络进行耦合。试验发现需衰减 10 dB 以上才能勉强满足指标,但损失掉的增益需增加放大器来补偿,这增加了功耗和成本,还可能带来带内不平度新的增加。本文希望能找到一种简单、低损耗的方法来实现整个发射信道的平坦度指标。

由于发射信道相对带宽较宽,而混频器的端口阻抗会随着本振频率的改变而变化,需对混频器在整个带宽内的阻抗值进行精确测量,然后进行优化仿真,得到最终的阻抗匹配电路。

2.2 混频器的阻抗精确测量

为了提高阻抗测量的精度,我们采取了以下措施,即

1) 对网络分析仪校准时,在开路状态下判断当前校准的精度。

通常校准时,会把测试探头一起连进校准环路进行校准以提高测试的精度。实践中由于测试探头无法连进校准环路,往往用等效电缆代替。理论上,等效电缆和测试探头间的长度误差越小,校准的精度越好。由于在 50 Ω 负载状态下存在收敛效应,用开路状态作为判断校准效果的依据精度更高。具体方法是用等效电缆校准后换为测试探头,在开路状态下,所校频点的光标应在网络仪上的史密斯原图最右端的开路点上,虚部越值接近 0,表示校准越精准,如图 2 所示。

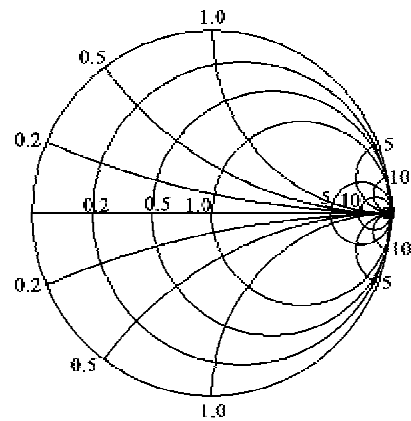


图2 校准后连上测试探头的开路状态

2) 测试探头用型号为 SUC0F0RM-47-CU 的半柔电缆制作成单头线,在用探头探测时,要确保单头线的屏蔽层能就近接地且接地良好,否则随着测试频率越高,测试结果的误差会越大。

2.3 计算耦合电路

结合信道平坦度测试结果与混频器阻抗测试结果分析后发现,宽带发射信道中绝大多数频点的阻抗值都在 $(33 - j13)$ 附近,但频率最高点的值为 $(27 - j23)$,这也是通带内幅度波动最大的频点。

通过仿真设计,在已知现有发射信道混频器后端级联负载的前提下,找到一个在现有各频点所呈现的阻抗值附近的均衡点的阻抗,利用这个均衡点阻抗与后端发射信道的负载进行匹配,满足系统的发射功率平坦性指标。同时将混频器的输出阻抗匹配至这个均衡点上,完成整个宽带匹配工作。

我们设计需要耦合的阻抗值为 $(30 - j18)$,它是波动最大的频点阻抗值和绝大多数频点阻抗值的平均值。

我们通过安捷伦公司的 ADS 进行计算和仿真^[5],采用最简单的两个元件构成的阻抗耦合网络。由于阻抗的实部为 30 Ω ,小于 50 Ω ,至少一个元件应为串联模式^[6]。下面重点介绍阻抗耦合 4 种拓扑结构的仿真计算。

2.3.1 串电容并电感结构

先串联电容再并联电感,其耦合轨迹如图 3 所示为先右下再右上。经仿真得元件值为 $C = 340$ pF, $L = 138$ nH,插入损耗小于 0.1 dB。实际采用值为 $C = 330$ pF, $L = 120$ nH。

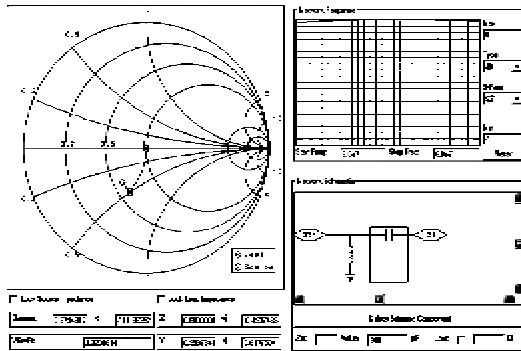


图 3 串电容并电感

2.3.2 串电感并电容结构

先串联电感再并联电容,其耦合轨迹如图 4 所示,其轨迹为先左上再右下。经仿真得元件值为 $L=97\text{ nH}$, $C=37\text{ pF}$,插入损耗小于 0.1 dB 。实际采用值为 $L=100\text{ nH}$, $C=36\text{ pF}$ 。

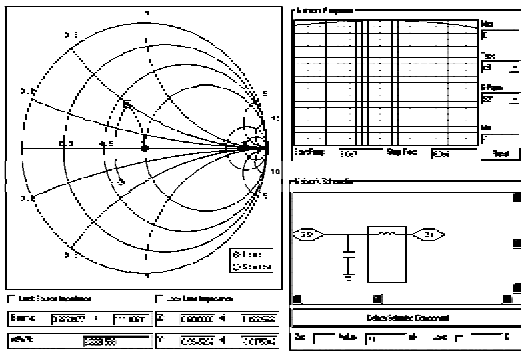


图 4 串电感并电容

2.3.3 并电感串电阻结构

第 3 种结构是先并联电感再串联电阻,其耦合轨迹如图 5 所示,其轨迹为先右上再右平。经仿真得元件值 $L=154\text{ nH}$, $R=9.8\ \Omega$,插入损耗为 0.92 dB 。实际采用值 $L=150\text{ nH}$, $R=10\ \Omega$ 。

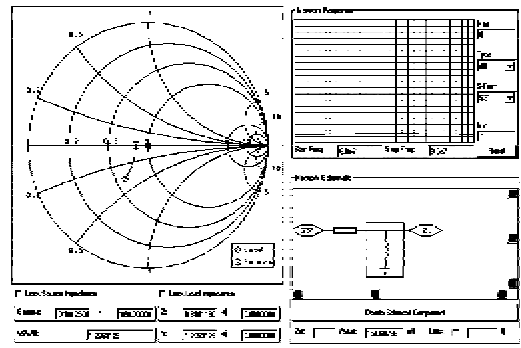


图 5 并电感串电阻

2.3.4 串电感串电阻结构

串联电感和电阻,其耦合轨迹如图 6 所示,其轨迹为先左上再右平。经仿真得元件值 $L=41\text{ nH}$, $R=20\ \Omega$,插入损耗为 2.25 dB 。实际采用值 $L=$

39 nH , $R=20\ \Omega$ 。

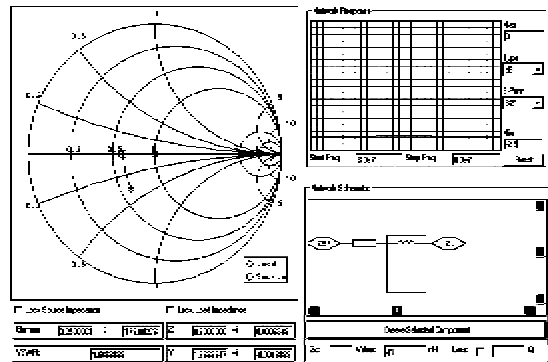


图 6 串电感串电阻

通过以上仿真计算得到 4 种拓扑结构的插入损耗,串电容并电感结构插损和串电感并电容结构插损均小于 0.1 dB ,并电感串电阻结构插损为 0.95 dB ,串电感串电阻结构插损为 2.25 dB 。只是后两种结构中因含有耗能元件——电阻,插入损耗偏大。

3 试验结果

我们分别用 4 种拓扑结构阻抗耦合后对发射信道平坦度进行了测试,具体测试结果如表 1 所示。

表 1 输入阻抗与输出平坦度测试结果

	第 1 种	第 2 种	第 3 种	第 4 种
耦合后混频器 IF 端输入阻抗	$51+j6$	$52+j3$	$50+j0.8$	$50+j0.6$
耦合后发射信道输出信号平坦度/dB	1.5	1.4	1.3	1.3

从表中可看出:

- 1) 随着耦合值的准确性的提高,发射信道越平坦。
- 2) 元件精度对结果是有影响的。我们采用的电感精度为 10% ,电容精度为 5% ,电阻精度为 2% 。带电阻的扑结构耦合精度一般要高,但带有一定损耗。

我们选用的是第 3 种结构,在平坦度最好的情况下,其损耗最小。

3 结束语

通过对超宽带发射信道分析和研究,利用微波仿真技术和宽带匹配技术为其设计了高精度阻抗耦合电路,有效改善了发射信道的幅度平坦度,具有构成元件少,插入损耗小的特点,是一种实用的方法,可广泛用于各种接收或发射信道中。

(下转第 630 页)